

Оценка эффективности применения различных мероприятий для снижения расхода топлива у АТС.

Д.т.н. Московкин В.В. к.т.н. Фисенко И.А. (НАМИ), Гуров М.Н. к.т.н. Шкель А.С. (МТУ)

Топливный баланс автомобиля имеет важное научное и практическое значение, так как на его основе определяются приоритетные направления работ, и оценивается эффективность различных мероприятий. Из-за его отсутствия, все время появляются сообщения о большой экономии топлива (десятки процентов) за счет аэродинамических обтекателей, присадок к моторным и трансмиссионным маслам, распылителям топливно-воздушной смеси, микропроцессорных систем для управления двигателем и трансмиссией и т.п.

Для иллюстрации теоретических основ топливных балансов разработанных различными авторами используем автомобиль Volvo (6x4) с дизелем при движении по горизонтальному шоссе со скоростью 60 км/ч. При выборе данного автомобиля руководствовались следующими соображениями. Он проходил испытания в НАМИ и занимает промежуточное положение по массе между одиночными грузовиками и автопоездами, а так же по колесной формуле между наиболее распространенными вариантами 4x2 и 6x6.

Так, на основе теории проф. Н. В. Дивакова (МАМИ) можно установить, что у данного автомобиля на аэродинамику расходуется 10% топлива. Аналогичный результат получим, если воспользуемся разработками д.т.н. Токарева А. А. (МАДИ), д.т.н. Безбородовой Г. Б. (Киевский автодорожный институт), специалистов завода ИФА (Германия) и фирмы Тойота. Мнения других исследователей по данному вопросу не совпадают выводами с перечисленных авторов. Так, Наркевич Э.И., Резниченко В.А. и Киселев Н.С. (Дмитровский Автополигон) и д.т.н.

Петрушов В.А. (НАМИ) считают, что здесь затраты топлива на аэродинамическое сопротивление должны быть 21%, к.т.н. Медовщиков Ю.В. (МАДИ) и специалисты исследовательских лабораторий Дженерал Моторс и Мицубиси – 31%, исследователи большинства фирм, входящих в ЕС (Мерседес, ДАФ, Рено и др.) – 50%.

Еще более удивительные данные приводит в учебнике проф. Гришкевич А.И. Он утверждает что, если снизить аэродинамическое сопротивление магистрального автопоезда на 12,5%, то расход топлива его уменьшится на 25%. Такое соотношение можно получить только в том случае, если удельный вес аэродинамического сопротивления в топливном балансе данного автопоезда был бы 200%!

Примерно о таком же соотношении между расходом топлива и аэродинамическим сопротивлением заявляет фирма Kenworth. Рекламируя свои автомобили, она утверждает, что их компоновка (кабина за двигателем) по сравнению с распространенной в Европе компоновкой (кабина над двигателем) позволяет сэкономить 22% топлива, хотя аэродинамическое сопротивление из-за такой формы снижается только на 10-12%.

В общем случае движения автомобиля его расход топлива в л/100 км - Q_s зависит от величины произведенной двигателем механической работы ($P_i \times 100$ км), параметра g_{is} и плотности топлива - ρ :

$$Q_s = \frac{g_{is}}{\rho} P_i \quad (1)$$

где g_{is} – удельный индикаторный расход топлива, г/Н·100 км.

$P_m + P_\tau + P_{тр} + P_f + P_w + P_j + P_\alpha = P_i$ – суммарная сила сопротивления движению автомобиля, приведенная к его колесам. Ее численное значение определяется суммой всех видов механических потерь, имеющих место при движении автомобиля: механических сопротивлений в

двигателе – P_m (трение поршней о стенки цилиндров, привод насосов и системы газораспределения и т.п.), сопротивлений от привода вспомогательного оборудования – P_t (вентилятор, компрессор, генератор и т.п.), сопротивлений в трансмиссии – $P_{тр}$, сопротивления качению шин – P_f , аэродинамического сопротивления – P_w , сил инерции – P_j и сил затраченных на преодоление подъемов – P_α .

Входящий в приведенные формулы новый параметр g_{is} используется вместо g_e - удельного эффективного расхода топлива (г/кВт·ч). Различие этих показателей, по сути, отражается индексами i и e : индикаторный вместо эффективного. Индекс s (по пути) обозначает изменение масштабного фактора.

Суть g_{is} можно понять из следующих рассуждений. При сгорании топлива в цилиндрах двигателя автомобиля, который преодолел путь $S = 100$ км = 100000 м, выделяется тепловая энергия – $Q_s \cdot hu$ (hu – низшая теплотворная способность топлива). Одна часть тепловой энергии преобразуется в механическую работу – $P_i \cdot S$. Другая, через систему охлаждения двигателя, с выхлопными газами и т.п., рассеивается в окружающей среде (энергия – E). Тепловой баланс автомобиля имеет следующий вид:

$$Q_s \cdot \rho \cdot hu = P_i \cdot S + E_t \quad (2)$$

В данном уравнении только одна неизвестная величина E , поэтому оно легко решается. Здесь hu , S и ρ постоянные величины, а Q_s и P_i легко определяются по известным методикам. Если каждую составляющую теплового баланса поделить на hu – получим топливный баланс автомобиля:

$$Q_s = \frac{P_i \cdot S}{\rho \cdot hu} + Q_t \quad (3)$$

где $\frac{P_i \cdot S}{\rho \cdot h_u}$ – топливо, преобразованное в механическую работу;

Q_T – топливо, потерянное при преобразовании энергии в механическую работу.

Взаимосвязь между расходом топлива и произведенной, при его сгорании в цилиндрах двигателя, механической работой, получили, разделив расход топлива на $P_i \cdot S$:

$$g_i = \frac{Q_s \cdot \rho}{P_i \cdot S}.$$

Численное значение g_i определяет количество топлива необходимое для получения 1 Дж механической работы и имеет размерность [г/Нм]. Однако, g_i , из-за малой величины, не удобен для практических расчетов, поэтому единицу работы выбрали в 100 000 раз большую. 100 000 является коэффициентом пропорциональности между метрами, стоящими в знаменателе размерности [г/Нм], и величиной, которая используется при оценке топливной экономичности автомобиля – 100 км. В результате, g_{is} определяет затраты топлива в граммах необходимые для получения механической работы в 100 000 Дж. Это эквивалентно работе, которая затрачивается на преодоление силы в 1 Н на пути 100 км. g_{is} имеет $\frac{\Gamma}{\text{Н} \cdot 100\text{км}}$, а его значение вычисляется по формуле:

$$g_{is} = \frac{Q_s \cdot \rho}{P_i}.$$

Подставив в данную формулу вместо Q_s , его выражение из (3) и, учитывая выполненные построения после преобразований, получим:

$$g_{is} = \frac{100000}{h_u} + \frac{Q_T \cdot \rho}{P_i \cdot S} \quad (4)$$

Первое слагаемое $g_{is\ 0} = \frac{100000}{h_u}$ характеризует затраты топлива, необходимые для совершения работы в 100 000 Дж. Его величина постоянная и зависит только от вида топлива. Например, при сгорании 1 г дизельного топлива выделяется 43000 Дж тепловой энергии, а 1 г бензина – 44000 Дж. Если бы вся эта энергия, без остатка, превратилась в механическую работу, то для преодоления силы в 1 Н на пути 100 км необходимо было бы затратить 2,33 г дизтоплива или 2,27 г бензина. Однако, из-за наличия тепловых потерь через стенки цилиндров и с выхлопными газами, затраты топлива, для совершения единицы работы, увеличиваются на величину определяемую вторым слагаемым (4)

$$\Delta g_{is} = \frac{Q_T \cdot \rho}{P_i \cdot S}.$$

В окончательном виде формула для определения g_{is} имеет вид:

$$g_{is} = g_{is\ 0} + \Delta g_{is} \quad (5)$$

Подставив данное выражение в (1) можно получить окончательную формулу для построения топливного баланса в общем случае движения автомобиля. Ее упрощенный вариант для движения автомобиля с постоянной скоростью на горизонтальной дороге имеет вид:

$$Q_s = (g_{is\ 0} + \Delta g_{is}) (P_{M\tau} + P_{TP} + P_f + P_w) \quad (6)$$

Здесь $P_{M\tau}$ – сила характеризующая механические сопротивления в двигателе и сопротивления от привода вспомогательного оборудования.

Теперь с помощью (6) построим топливный баланс упомянутого выше автомобиля Volvo (6x4). Для анализа степени совершенства рабочего процесса установленного на нем двигателя используем выраженный в

процентах новый удельный показатель $\Delta = \Delta g_{is} / g_{is o}$. Или привычный для многих индикаторный КПД двигателя, который легко можно получить на основе (5):

$$\eta_i = \frac{g_{iso}}{g_{is}} \cdot 100\% .$$

Топливный баланс автомобиля Volvo (6x4) показан на рис. 1. Здесь для получения единицы механической работы затрачено столько же (100%) тепловой энергии $\Delta = 100\%$. Индикаторный КПД = 50%. Это означает, что в данном режиме движения автомобиля его двигатель для преодоления каждой силы в 1 Н на пути 100 км потребляет 4,66 г дизтоплива. Из них 2,33 г преобразуется в механическую работу $g_{is o} = 2.33$ г, и столько же 2,33 г в потери тепловой энергии $\Delta g_{is} = 2.33$ г, через стенки цилиндров, систему охлаждения, с выхлопными газами и т.п.

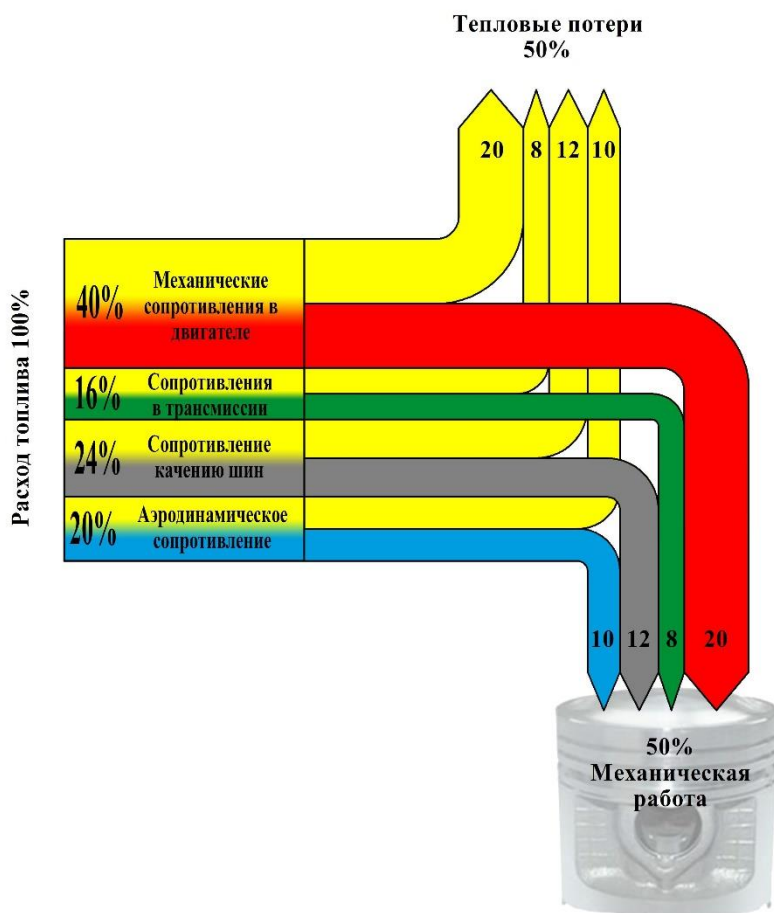


Рис. 1 Топливный баланс автомобиля Volvo (6x4).

Теперь покажем применение топливного баланса для выявления резервов повышения топливной экономичности у автомобиля Lada Vesta за счет систем Stop-Start, i-Stop и использования гибридных систем.

Эффективность систем Stop-Start, i-Stop. На рис. 2а показано распределение затрат топлива по режимам движения в цикле EU. Основным интересом представляет городской цикл. Здесь затраты топлива распределяются следующим образом: холостой ход -16%, равномерное движение – 39% и разгоны 46%.

На рис. 2б показан топливный баланс, в котором в место затрат топлива на холостой ход, приведены затраты топлива необходимые для работы системы Stop-Start которые составляют примерно 8% (7,5 % от расхода топлива на рис 2а). Разница между 16% и 7,5% даст результат экономии топлива за счет установки системы Stop-Start на автомобиле Lada Vesta - 8,5%.

Система i-Stop в отличие от Stop-Start работает отдельно от системы генератор-аккумулятор-стартер и для запуска двигателя использует энергию, полученную за счет рекуперации. Поэтому экономия топлива при ее использовании на автомобиле Lada Vesta составляет 16%.

При оценке эффективности автомобиля с гибридными схемами мы должны проанализировать три составляющие топливного баланса: тепловые и механические сопротивления в двигателе и силы инерции. Первые две составляющие определяют потери энергии, а третья величину ее рекуперации.

Известно, что все познается в сравнении. При анализе топливных балансов механические сопротивления в двигателе и силы инерции мы имеем возможность сравнивать между собой и другими составляющими сопротивлениями суммарного сопротивления движению, а тепловые потери сравнить не с чем, поэтому выбрали для него аналог с практически такой же мощностью двигателя - Fiat 500L.

На рис. 3а и 3б приведены топливные балансы автомобиля Lada Vesta в городском и скоростном циклах EU. Анализ приведенных данных показывает, что в городском цикле наибольший удельный вес имеют механические сопротивления в двигателе 4,97 л/100 км (55 %), в тоже время силы инерции, за счет которых можно рекуперировать энергию, сравнительно невелики 2,47 л/100 км (27 %). Имеются резервы по тепловым потерям в двигателе, они составляют существенную величину 228 %, что в полтора раза больше чем у автомобиля Fiat 500L (151%), при аналогичных условиях движения.

В скоростном цикле резервы по повышению топливной экономичности на много скромнее. Здесь на механические сопротивления в двигателе приходится 1,62 л/100 км (28 %) топлива и меньше расходуется топлива на преодоление сил инерции - 1,18 л/100 км (19 %). Скромнее резервы по тепловым потерям в двигателе 165 % (Fiat 500L - 128%).

На рисунках 4а и 4б приведены топливные балансы при движении автомобиля Lada Vesta в реальных дорожных условиях.

На рис. 4а показан топливный баланс при прохождении скоростной дороги Дмитровского автополигона. Установлено ограничение скорости 90 км/ч при разгонах используется 80% мощности двигателя. Здесь представляет интерес для снижения только одна составляющая топливного баланса - механические сопротивления в двигателе -30%.

На рис. 4б показан топливный баланс при прохождении городского маршрута. Условия движения: при разгонах используется 50% мощности двигателя, степень использования тормозов – 8%. Здесь интерес для повышения топливной экономичности представляют механические сопротивления в двигателе -38% и тепловые потери в двигателе - 208% (Fiat 500L - 169%). Имеются неплохие возможности по рекуперации энергии - 43%.

В данной статье мы показали только некоторые простейшие возможности по применению топливного баланса для выявления резервов

топливной экономичности АТС. Опыт показывает, что обычно любая работа такого плана требует более глубоких исследований. Для выполнения последних можно использовать компьютерную программу МВК

Компьютерная программа МВК создана принципиально новой теоретической основе разработана. С помощью МВК всего за несколько минут можно собрать автомобиль и провести его «испытания». Например, если характеристики двигателя, установленного на объекте исследований, пользователя не устраивают, то можно взять из банка данных новый двигатель или скорректировать имеющийся: увеличить или уменьшить число цилиндров, изменить рабочий диапазон частоты вращения коленчатого вала и т.п.

Банк данных МВК не имеет аналогов в мире, в настоящее время в нем более 5000 АТС 2000-2016 г.г. полной массой от 0.5 до 555 тонн и колесной формулой тягача от 4x2 до 8x8. Среди них существенную долю составляют новые автомобили. Он включает в себя характеристики более 2000 двигателей мощностью от 30 до 3550 л.с., 1500 коробок передач различных конструкций, аэродинамические коэффициенты более 1000 автомобилей, шины, и др. Здесь же имеются характеристики АТС и агрегатов и созданы условия для их оперативного использования.

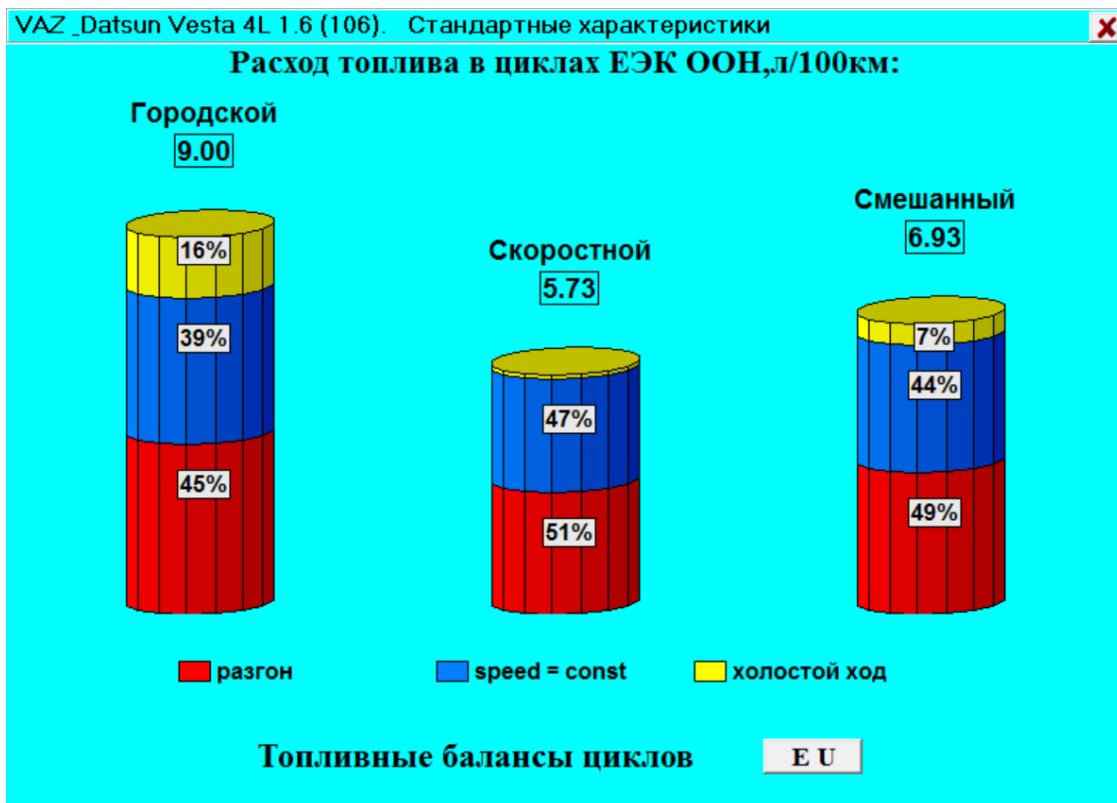
МВК позволяет провести полный комплекс лабораторно-дорожных испытаний: равномерное движение и разгоны, движение в любом заданном диапазоне скоростей, движение на отдельных передачах или с переключением передач, движение на горизонтальной дороге, на уклонах и подъемах, выбеги на каждой передаче в любом диапазоне скоростей.

Предусмотрены стендовые испытания для определения расходов топлива и выбросов CO₂ в циклах EU.

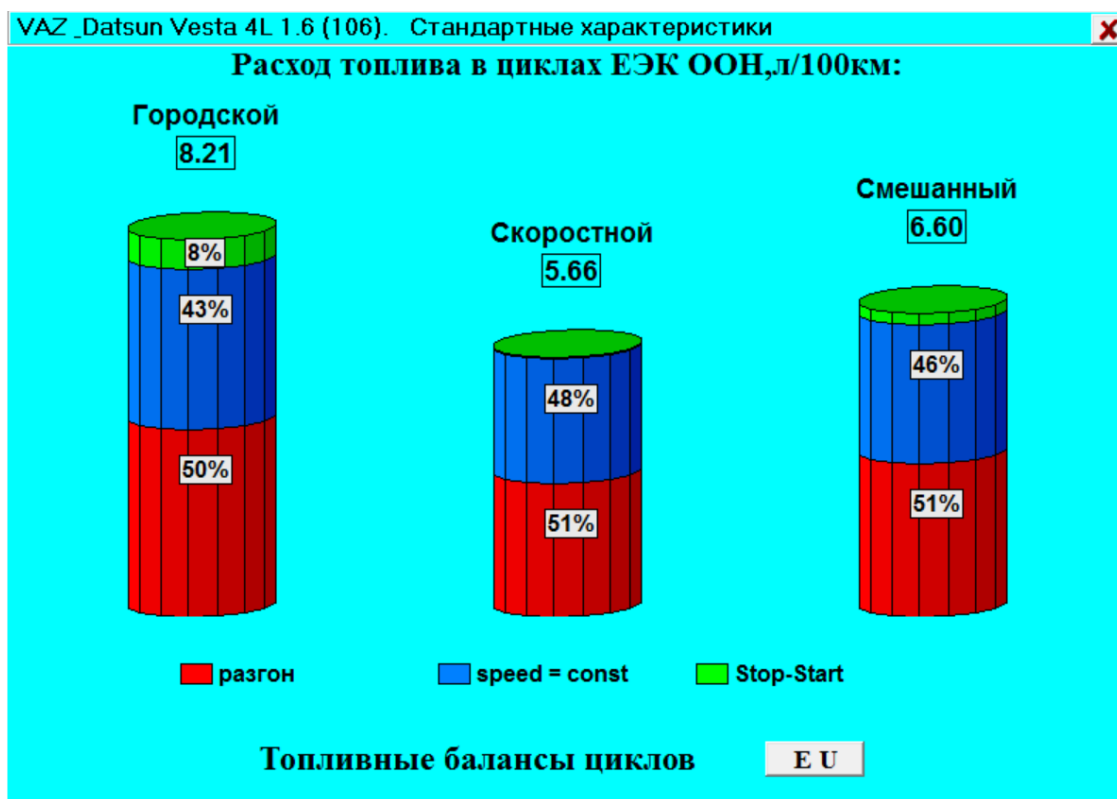
Для выполнения эксплуатационных испытаний предлагается несколько видов дорог и маршрутов: динамометрическая и скоростная НАМИ, горная (Памир), городские и конкретные автобусные маршруты, карьерный, дорога для испытаний моторных тормозов и т.п. Имеется

участок Штутгартского кольца – 225 км (система дорог в Германии, на которых проводятся сравнительные испытания автопоездов различных фирм). Профиль дороги можно изменить или «создать» новую дорогу. Любую из дорог можно покрыть льдом, грунтом, снегом, установить ограничение скорости на ее участках. Маршрут можно преодолевать с полным или частичным использованием мощности двигателя и тормозных свойств.

В ходе экспериментов определяются характеристики АТС: расход топлива, скорость движения и ряд других параметров. Имеются исходные данные для расчетов на прочность и усталость агрегатов: значения крутящих моментов и времени их действия на каждой передаче в коробке передач. Шум и износ агрегатов определяется косвенно (количество оборотов в минуту, количество оборотов за один километр пройденного пути, количество переключений в коробке передач).

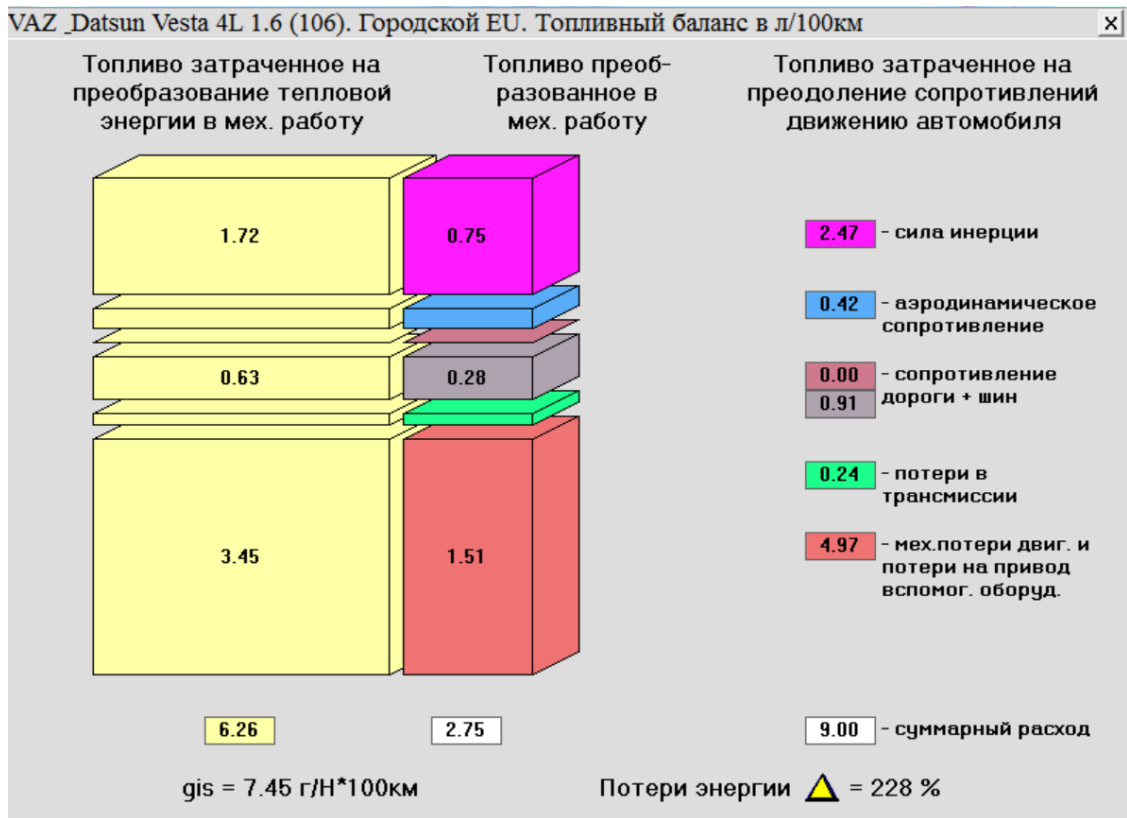


а)

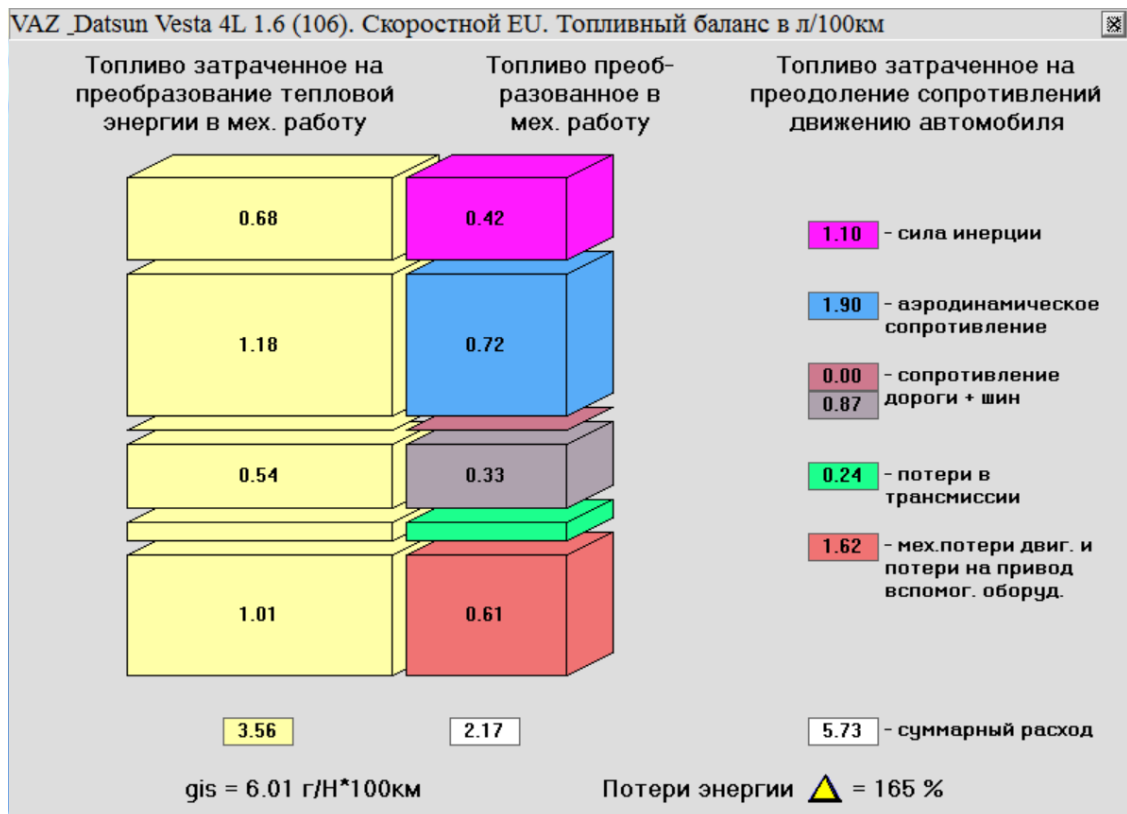


б)

Рис. 2 Топливные балансы циклов EU для автомобиля Lada Vesta при отсутствии – «а» и наличии – «б» системы Stop-Start.

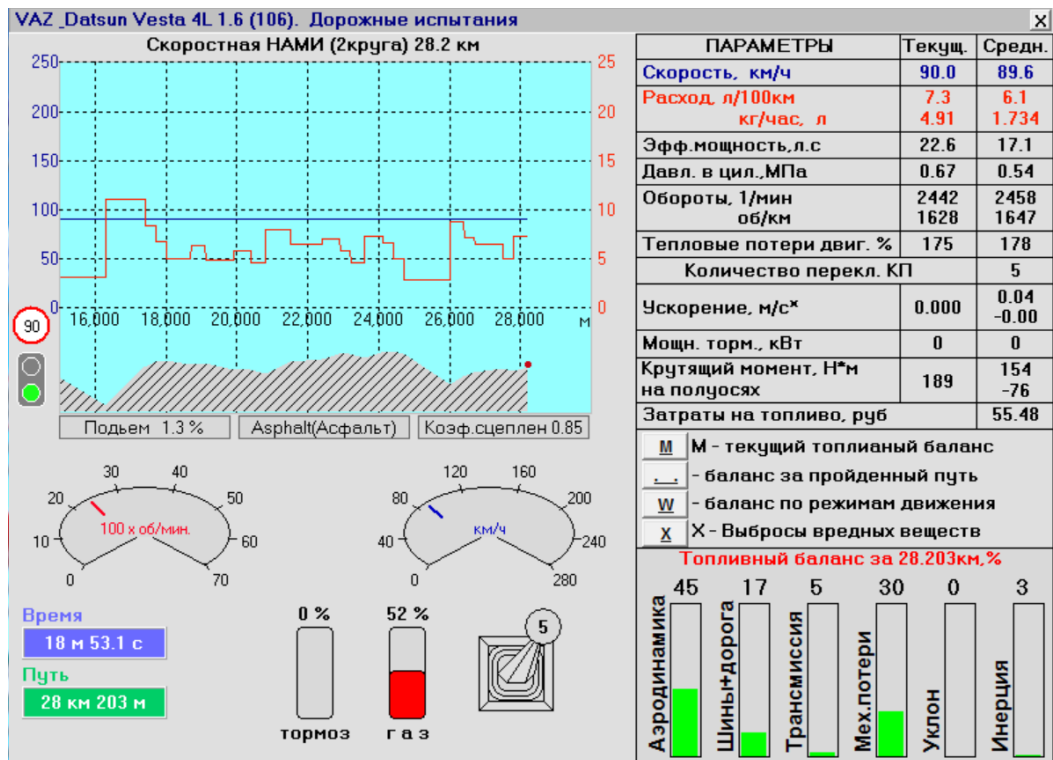


а)

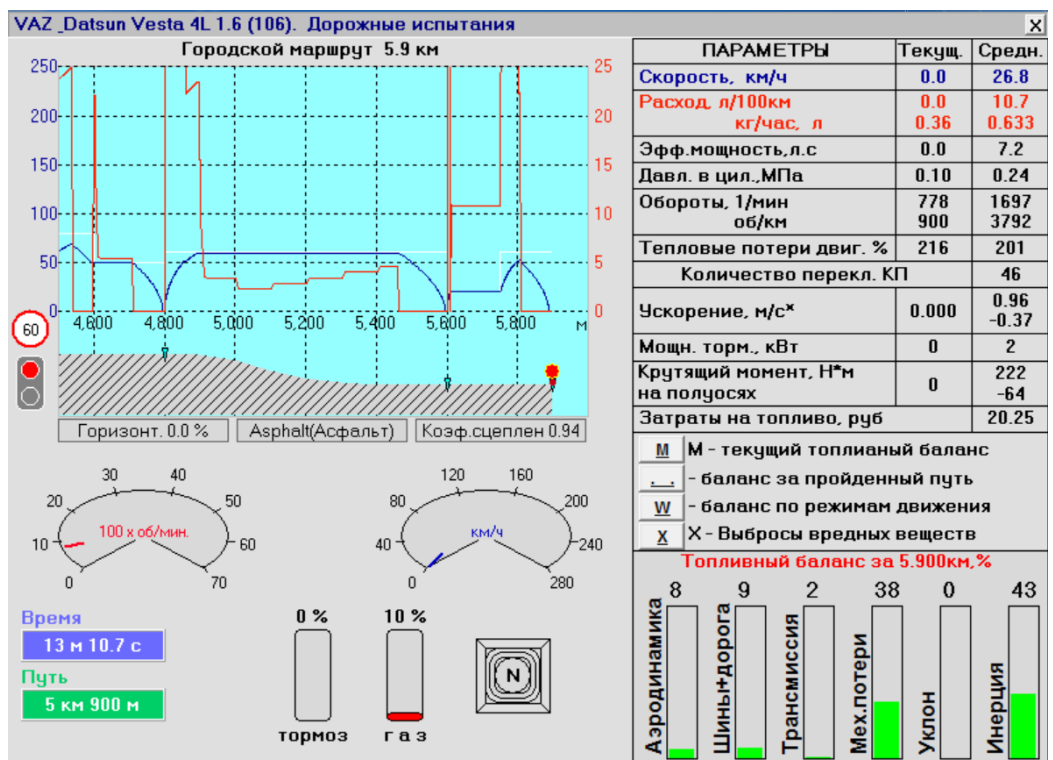


б)

Рис. 3 Топливные балансы циклов EU для автомобиля Lada Vesta: а- городской; б- скоростной.



а)



б)

Рис. 4 Топливные балансы км автомобиля Lada Vesta: а – при движении по скоростной дороге Дмитровского автополигона; б – на городском маршруте.